

任俊鹏,毛妮妮,郭建,等.薄膜覆盖对夏黑葡萄光合特性和果实品质的影响[J].江苏农业科学,2020,48(23):115-120.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.23.022

薄膜覆盖对夏黑葡萄光合特性和果实品质的影响

任俊鹏,毛妮妮,郭建,刘照亭

(江苏丘陵地区镇江农业科学研究所,江苏句容 212400)

摘要:以 6 年生夏黑葡萄为试验材料,测定分析了露天(CK)、单层(L1)、双层(L2)薄膜覆盖处理下葡萄叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)以及不同处理下的光照强度、光合有效辐射、叶片生长能力和果实成熟期的内外品质。结果表明,与 CK 相比,L1 和 L2 处理夏黑葡萄叶片的 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 均明显提高,有利于叶片的光合积累,夏黑葡萄叶片的大小和叶绿素含量均明显提高,同时提高了果实品质和果皮着色指标;薄膜覆盖降低了设施内的光照强度,但是并未减弱设施内的光合有效辐射(PAR)。总体而言,薄膜覆盖对夏黑葡萄的生长和果实品质有显著促进作用;双膜覆盖处理与单膜覆盖处理相比无显著性差异。

关键词:夏黑;葡萄;薄膜覆盖;光合特性;果实品质

中图分类号: S663.104 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)23-0115-06

葡萄属于葡萄科葡萄属,起源于地中海和黑海沿岸,品种繁多,在世界各地均有栽培,是世界四大水果之一^[1]。在我国南方地区,降雨主要集中在 3—7 月,降水量可占全年的 70% 左右,且雨热同期,不利于葡萄尤其是欧亚种葡萄的生长。而避雨栽培技术的出现,创造出了干燥少雨的局部环境,有利于葡萄在南方地区的栽培,解决了南方葡萄多年来以露地栽培为主,常出现病害严重、品质低、采收期相对集中等问题,极大促进了葡萄产业的发展^[2]。近些年,为了提早成熟获得更大经济效益,在一些中早熟葡萄品种上采用了多层薄膜覆盖的促成栽培技术,包括单膜促成、双膜促成等方式,其中以单层膜最为普遍。但是,薄膜覆盖影响了设施内的光照条件,弱光已成为阻碍设施生产的主要因素之一^[3]。

光作为影响植物生长和发育的重要环境因子,既能够给植物生长提供能量,也能作为环境信号调节植物自身的生长、发育以及形态,以增强植物对外部环境的适应能力^[4]。研究表明,不同的光照条件对植物叶片形态建成和光合特性均有影响^[5],弱光会引起作物生长发育失衡、开花坐果不良、抗病

性下降和光合产物减少等,进而导致作物品质及产量降低^[6-7],遮阴会导致植物叶片叶面积大小、叶绿素含量、叶绿素荧光和光合特性等发生变化^[8-10]。夏黑葡萄为欧美杂种,早熟、品质优良,在我国南方地区栽培面积较大,李瑛的研究表明,夏黑葡萄在上海地区的耐弱光能力强^[11];但谢计蒙等指出其在北方温室条件下表现出较弱的连年丰产能力,属于非耐弱光的品种^[12]。以往的研究主要针对夏黑葡萄幼苗期及单膜覆盖下的光合特性,而对南方地区丰产期和多膜覆盖下夏黑葡萄的生长生理特性和光合特性研究相对较少。本试验研究了不同薄膜覆盖层数对夏黑葡萄在丰产期的光合特性与果实品质的影响,探讨其对设施内弱光环境的适应能力,了解多膜促成栽培条件下葡萄的生态特性,以期建立早熟、优质的促早栽培模式提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

本试验选用生长势一致的 6 年生夏黑葡萄为试验材料,于 2017 年在镇江市农科院葡萄试验基地,坡度为 5° 的岗坡地进行(119°21'E,31°95'N)。在葡萄生长前期(萌芽前—坐果期)分别进行全封闭的单膜促成和双膜促成栽培,在生长后期(坐果期—成熟期)待气温稳定在 25℃ 左右后改为避雨栽培,将四周裙膜撤掉,仅保留顶部避雨膜。

采用 0.15 mm 厚度的 PEP 利得膜(透明无滴膜)覆盖。试验共设 3 个处理,分别为露天栽培

收稿日期:2020-09-02

基金项目:江苏省第五期“333”工程培养资金(编号:BRA2019169)。

作者简介:任俊鹏(1987—),男,河南洛阳人,硕士,助理研究员,主要从事果树生理与栽培技术研究。E-mail:renjunpeng00@163.com。

通信作者:刘照亭,研究员,主要从事果树栽培技术及现代农业园运行体制研究。E-mail:zjnkstl@126.com。

(CK)处理、单层膜避雨栽培处理(L1)、双层膜避雨栽培处理(L2),单株小区,重复3次。进行常规肥水管理。

1.2 测定方法

在2017年7月初(促成栽培处于成熟期,露天栽培处于转色期),在棚内随机选取不同方位葡萄结果母枝,测定结果母枝果穗临近叶片的光合指标。采用Li-6400便携式光合测定仪(美国LI-COR公司生产),流速500 $\mu\text{mol/s}$,在0~2 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照度区间设置11个光照度[2 000、1 600、1 200、1 000、800、600、400、200、100、50、0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],测定各处理所取叶片的净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)。采用浙江托普生产光照记录仪测定光照度和光合有效辐射。于果实成熟期用SPAD 502型叶绿素仪测定葡萄叶片叶绿素含量(SPAD值),每处理随机选取3株,随机测定3个不同方位结果枝条果穗对面叶片的SPAD值,3次重复,求其平均值。叶面积 $y = 0.8068 \times x^{1.9311}$ (x 表示叶宽^[13]),叶片宽度采用螺旋测微器测定。

果实品质的测定:每个处理于果实成熟时,随机采集有代表性的果穗10个,测定单果质量,选取30粒葡萄用PAL-1型手持数显糖度计[ATAGO(爱宕)中国分公司生产]测定可溶性固形物含量;果实可滴定酸的测定采用酸碱滴定法;果实的颜色差异采用WSC-3B型便携式精密色差仪(光源:D65,上海仪电物理光学仪器有限公司生产)测定,每处理随机选取30粒果实,测定每个果实中部的亮度(L , L 值越大,表示果面亮度越高,反之则越低)、红绿指标(a ,正值越大,偏向红色;负值越大,偏向绿色)、黄蓝指标(b ,正值越大,偏向黄色;负值越大,偏向蓝色)、饱和度(c ,数值越小,颜色越深)、色度(h ,数值越小,颜色越深)。

1.3 光响应曲线拟合

采用直角双曲线修正模型对叶片光响应曲线进行非线性拟合。计算公式如下:

$$P_n(I) = \alpha \frac{1 - \beta I}{1 + \gamma I} I - R_d$$

式中: α 表示表观量子效率, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; β 表示修正系数; γ 表示与光强无关的系数; R_d 表示暗呼吸速率, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

1.4 数据处理

用DPS和EXCEL 2007软件对数据进行统计分

析和图表绘制,显著性检验采用Duncan's新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜层数对夏黑葡萄净光合速率的影响

利用直角双曲线修正模型对各处理的光响应曲线进行拟合,其决定系数(r^2)均在98%以上,拟合效果均较好。如图1所示,当光合有效辐射(PAR) $\leq 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,所有处理的净光合速率(P_n)均随着 PAR 的增大而快速增加;当 $PAR \geq 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,各处理的 P_n 随 PAR 增大而增加的速率变缓,最后 P_n 趋于稳定,覆膜处理植株的净光合速率与对照相比差异明显,叶片净光合速率平均值由大到小依次为单层>双层>对照。说明在生产栽培条件下,覆膜栽培最有利于叶片的光合积累。其中单膜栽培下的叶片净光合速率要高于双膜栽培,但差异不明显。

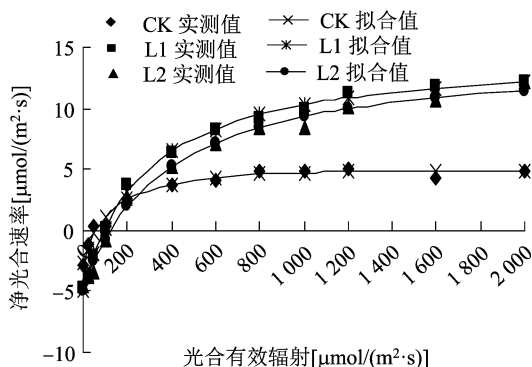


图1 不同覆膜层数对夏黑葡萄净光合速率的影响

利用直角双曲线模型拟合得到的表观量子效率(α)、最大净光合速率(P_{\max})和暗呼吸速率(R_d),进一步计算出光补偿点(LCP)。表1结果表明,各个处理的表观量子效率(α)为0.053~0.069 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,单层处理的 α 值最大,而双层处理的 α 值最小。表观量子效率是反映植物光能利用率和物质转化效率的基本参数, α 值越大,效率越高;因此,单层薄膜处理的叶片对光的利用能力要强;双层薄膜处理的叶片对光的利用能力要弱于单层和对照。最大净光合速率能直观地反映出叶片的光合潜能,单层处理的最大净光合速率最高,为14.566 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;其次是双层处理,为14.514 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;对照处理的则最小,仅为4.826 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。各处理间光补偿点差异较大,对照叶片的光补偿点最低,而双层处理的光补偿点则最大,为123.442 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,说明覆膜后影响了夏黑葡萄对光能的利用。暗呼

表 1 不同覆膜层数对‘夏黑’葡萄光合参数的影响

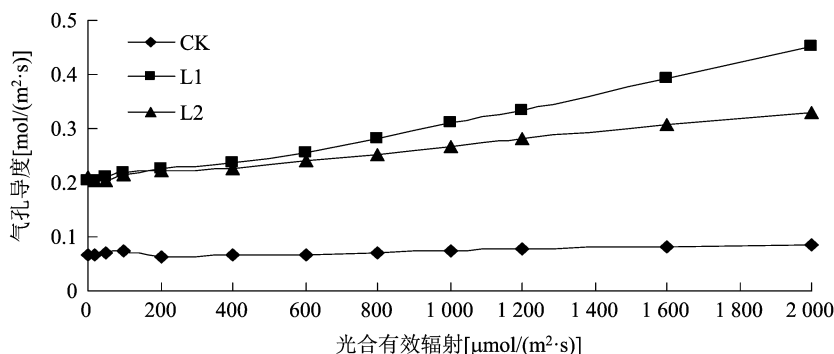
处理	表观量子效率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	最大净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	暗呼吸速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	光补偿点 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	模型拟合决定系数 (r^2)
CK	0.064	4.826	2.603	58.027	0.981
L1	0.069	14.566	4.891	95.287	0.999
L2	0.053	14.514	4.849	123.442	0.992

吸速率(R_d)是指植物在光照强度为零时呼吸消耗的光合积累产物,单层处理和双层处理下的 R_d 分别比对照高 87.9% 和 86.3%,说明覆膜处理增加了夏黑葡萄叶片的暗呼吸速率,消耗了更多的光合产物,但单层和双层覆膜处理之间差异较小。

2.2 不同覆膜层数对夏黑葡萄气孔导度的影响

气孔导度的大小反映出植物叶片与外部环境

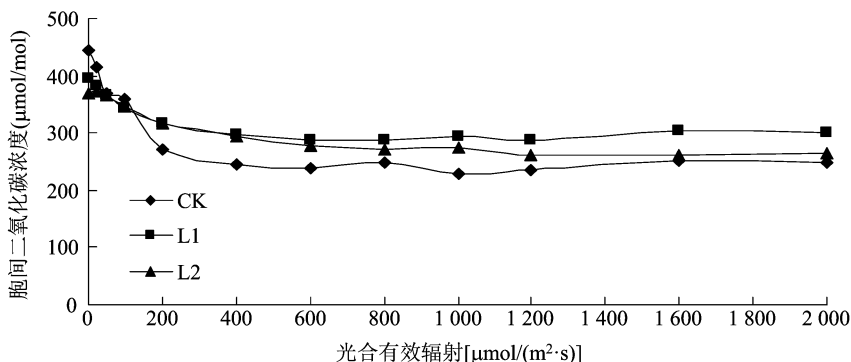
进行气体交换的能力强弱。图 2 所示,各处理的气孔导度均随着 PAR 的增加而逐渐上升,且各时期的气孔导度均表现为对照 < 双层 < 单层。当 $PAR \leq 400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,单层和双层处理差异不明显,但明显高于对照。说明单层和双层覆膜能够提高叶片与外部的的气体交换能力,进而提高叶片的光合潜能。

图2 不同覆膜层数对夏黑葡萄气孔导度(G_s)的影响

2.3 不同覆膜层数对夏黑葡萄胞间二氧化碳浓度(C_i)的影响

图 3 所示,各处理下叶片的胞间 CO_2 浓度(C_i)均呈先快速下降再趋于平缓的趋势。 C_i 下降速度越快,叶片对 CO_2 的利用速率越快, C_i 越低,叶片对 CO_2 的利用率则越高。当 $PAR < 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,各处理的 C_i 随 PAR 的增大而快速下降;当

$PAR > 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, C_i 随 PAR 的增大而趋于平缓。在 $PAR < 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,各处理间 C_i 差异不明显,PAR 在 $200 \sim 600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,单层和双层处理的 C_i 差异不明显,但均明显高于对照。说明对照处理下叶片对 CO_2 的利用率最高,覆膜处理降低了设施内 CO_2 的流动,进而降低了作物对 CO_2 的利用率。

图3 不同覆膜层数对夏黑葡萄胞间二氧化碳浓度 C_i 的影响

2.4 不同覆膜层数对夏黑葡萄蒸腾速率的影响

蒸腾速率(T_r)指植物在一定时期内单位叶面

积所蒸发的水量。图 4 所示,各处理下叶片的 T_r 随着光合有效辐射的增加而缓慢上升;且随着 PAR 的

不断升高,所有覆膜处理的 T_r 始终高于对照,各个处理下的 T_r 表现为双层 > 单层 > 对照。另外,双层处理的 T_r 在作物各生长期总是最高,达到对照的 2

倍以上。说明覆膜处理下叶片的蒸腾速率可能随着设施内温度的增加而升高。

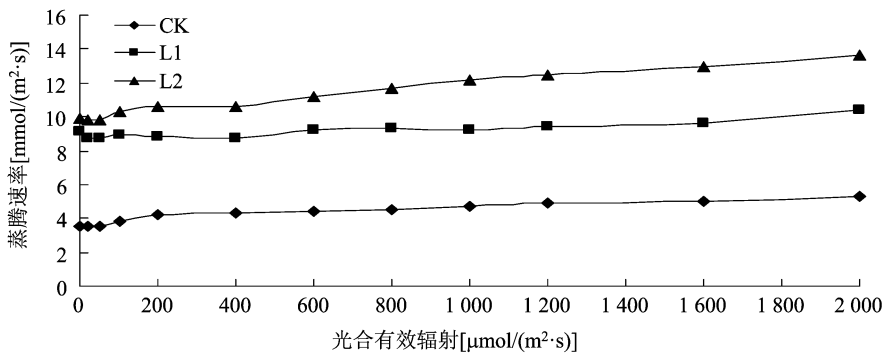


图4 不同覆膜层数对夏黑葡萄蒸腾速率 T_r 的影响

2.5 不同覆膜层数对设施内光照度的影响

植物的光合作用强度、速率与光照度密切相关。由图 5 可知,薄膜覆盖后,设施内外光照度随着时间的变化呈先上升后下降的趋势,在 12:00 达到最大值,此时单膜覆盖和双膜覆盖下的光照度仅为对照的 81.6% 和 64.6%。不同薄膜层数覆盖均降低了设施内的光照度,双层覆盖与单层覆盖相比,又极大的降低了其内部光照度。

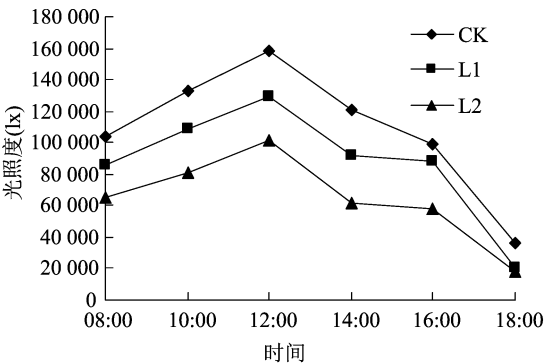


图5 不同覆膜层数对设施内外光照强度的影响

2.6 不同覆膜层数对设施内光合有效辐射的影响

植物冠层的光合作用与光合有效辐射 (PAR) 相关性极强,一般随着 PAR 的增加而增强。由图 6 可知,薄膜覆盖后,设施内外 PAR 随着时间的变化先趋于平稳后急剧下降,在 08:00—16:00 间,各处理间的 PAR 数值均保持一致,在 16:00 以后,随着光照度的下降,单层膜和双层膜内 PAR 骤降,并且单层膜内的 PAR 要高于双层膜。说明不同薄膜层数覆盖在晴好天气下并没有影响到设施内的光合有效辐射。

2.7 不同覆膜层数对夏黑葡萄叶片生长的影响

由表 2 可知,单层覆盖和双层覆盖下的叶绿素

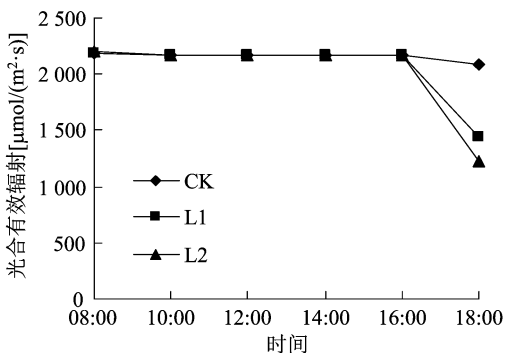


图6 不同覆膜层数对设施内外光合有效辐射的影响

含量和叶片面积均要显著高于对照,其中叶绿素含量分别为对照的 124.7% 和 134.8%,叶片面积也高出了对照 39.5% 和 46.9%,但双层覆盖和单层覆盖间差异不显著。各处理间的叶片厚度并无显著差异。说明虽然薄膜覆盖降低了设施内的光照度,但同时能够隔绝雨水,很好地保护叶片免受病虫害的侵害,从而提高了叶片进行光合作用的能力。

表 2 不同覆膜层数对夏黑葡萄叶片生长的影响

处理	叶绿素含量 (SPAD 值)	叶片面积 (cm^2)	叶片宽度 (mm)
CK	37.29 ± 3.28b	282.34 ± 6.60b	0.422 ± 0.007a
L1	46.51 ± 1.77a	393.74 ± 17.68a	0.442 ± 0.006a
L2	50.25 ± 1.92a	414.83 ± 33.15a	0.444 ± 0.002a

注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,下表同。

2.8 不同覆膜层数对夏黑葡萄果实品质和果皮颜色的影响

由表 3 可知,薄膜覆盖显著提高了夏黑葡萄的单果质量和纵横径,增加了果实可溶性固形物含量,同时降低了可滴定酸含量;其中单果质量分别较对照提高了 4.15% 和 8.01%,单膜覆盖和双膜覆

盖相比,果实品质并无显著差异。由表 4 可知,夏黑葡萄果皮颜色的 L 、 a 、 b 、 c 和 h 值均显著低于对照; L 值代表亮度, L 值越小,颜色越深, h 值代表色调,即综合指标,数值越小,越趋于黑色,单层和双层覆膜处理下的 L 值分别比对照降低了 12.8% 和 13.3%, h 值分别比对照降低了 59.2% 和 51.8%,且差异显

著。说明薄膜覆盖下,夏黑葡萄果皮颜色越趋于紫黑色,能够达到优质果水平,但是单层和双层覆盖相比,果实品质和果皮颜色指标并无显著差异。综上所述,薄膜覆盖提高了夏黑葡萄的果实品质,单层覆盖和双层覆盖对夏黑葡萄果实品质的影响并无显著差异。

表 3 不同覆膜层数对夏黑葡萄果实品质的影响

处理	单果质量 (g)	纵径 (mm)	横径 (mm)	可溶性固形物含量 (%)	可滴定酸含量 (%)
CK	10.11 ± 0.39b	28.15 ± 0.47b	24.18 ± 0.28b	16.92 ± 0.04a	0.40 ± 0.02a
L1	10.53 ± 0.22ab	28.48 ± 0.31ab	24.84 ± 0.23a	17.58 ± 0.32a	0.36 ± 0.02b
L2	10.92 ± 0.37a	29.45 ± 0.73a	25.22 ± 0.16a	17.46 ± 0.50a	0.36 ± 0.03b

表 4 不同覆膜层数对夏黑葡萄果皮颜色的影响

处理	亮度(L)	a	b	饱和度(c)	色度(h)
CK	34.10 ± 0.34a	16.72 ± 0.62a	5.33 ± 0.19a	17.55 ± 0.65a	17.68 ± 0.06a
L1	29.73 ± 0.52b	9.41 ± 0.93b	1.09 ± 0.13c	9.46 ± 0.96b	7.21 ± 0.27c
L2	29.55 ± 0.48b	9.90 ± 0.50b	1.50 ± 0.25b	9.98 ± 0.55b	8.53 ± 1.08b

3 结论与讨论

光合作用是果树生长发育、形态建成、果实产量与品质形成的基础^[14]。光照是光合作用的主导因子,决定果树的生产力,也是影响光合作用的最易变化的因素。最大净光合速率能反映植物叶片的最大光合能力,本试验中覆膜后叶片的最大净光和速率均明显高于对照,说明不同覆膜层数处理提高了叶片的光合能力,有利于光合产物在叶片中积累;且随着光合有效辐射的增加,单膜处理下的净光合速率要高于双膜处理。本试验中,各处理的 P_n 、 T_r 和 G_s 均随光照度增加而升高,而 C_i 则逐渐降低,且薄膜覆盖下的各指标均要高于对照,表明薄膜覆盖可以提高叶片净光合速率、蒸腾速率和胞间 CO_2 浓度;何静雯等研究表明,随着弱光胁迫的增强,“鄞红”葡萄的最大净光合速率(P_{nmax})、蒸腾速率(T_r) 和 1,5 - 二磷酸核酮糖羧化酶/加氧酸(Rubisco)均逐渐降低,而 G_s 和 C_i 则逐渐上升^[15];王家保等研究表明,番荔枝幼苗单叶光合速率、蒸腾速率、气孔导度都随着叶片发育过程中所处光照度的增加而增强^[16],本试验的研究结果与之基本一致。光补偿点体现了植物对弱光的利用能力,补偿点越低,植物利用弱光的能力就越强^[17];本试验薄膜覆盖下的光补偿点均高于对照,且双层覆盖的要

明显高于单层覆盖,说明薄膜覆盖严重影响了夏黑葡萄的光能利用率。表观量子效率(α)反映植物吸收与转化光能色素蛋白质复合体的多寡,也表示植物对弱光的利用效率^[18];自然条件下生长良好的植物,其 α 一般在 0.03 ~ 0.07 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间,本试验各处理的 α 在 0.053 ~ 0.069 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间,处于植物光合生长的适宜区间。

同一植物在不同的光照条件下可能表现出不同的形态和生理特征,这是植物根据所处环境条件做出的适应性变化,典型的如植物叶片的适光变态^[19-20]。弱光胁迫导致辣椒株高增加、茎秆变细,而叶面积则增大^[21];遮阴可使葡萄叶面积增大,叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量均增加^[22];薄膜覆盖减弱了设施内光照强度,减缓了葡萄生长发育,减小了株高和茎粗,但叶面积增大^[23]。这与本试验中薄膜覆盖增加了夏黑葡萄叶面积的结果都是一致的。叶绿素是植物进行光合作用时吸收和传递光能的主要物质基础,适量的遮光可使其含量增加,Chl a/b 下降,有利于对光能的捕获和吸收,从而有效利用弱光^[24-25]。本试验中,随着覆膜后光照强度降低,葡萄叶片叶绿素含量随之升高,说明覆膜造成的弱光环境刺激了叶绿素含量的增加,且不同覆膜层数间并无显著性差异。

许文天等研究指出,避雨栽培提高了芒果可溶

性糖含量,降低了可滴定酸含量,糖酸比增大,有效提高了坐果率^[26],本试验研究结果与之一致。光照度对果实花色素积累有重要影响,有报道欧亚种葡萄避雨栽培红色品种出现着色偏淡问题^[27],魏永赞等研究表明,遮光处理抑制了荔枝和草莓果皮花色素苷的合成相关基因的表达,延缓了果实的正常着色^[28-29],本试验研究结果与之不同。本试验薄膜覆盖下的 L 、 a 、 b 、 c 和 h 值显著低于对照,说明薄膜覆盖下的果皮颜色越深,可能是前期促成栽培提早了物候期,导致转色期的温度更有利于果实上色;同时单膜覆盖下的 b 值和 h 值显著高于双膜覆盖,这可能是因为薄膜覆盖对光照强度影响导致果实色彩浓度的变化。

综上所述,薄膜覆盖增加了夏黑葡萄叶片面积和叶绿素含量;提高了叶片净光合速率、气孔导度等光合指标,提高了果实单果质量、纵横径、可溶性固形物等果实品质指标,尤其对果实果皮颜色有显著提高;单层覆盖与双层覆盖相比并无显著差异。

参考文献:

- [1]郝宇,张淑静,张世红,等. 葡萄品种资源的 SSR 鉴定及遗传多样性分析[J]. 河北农业大学学报,2010,33(1):54-55.
- [2]曹伟婷,顾巧英,蔡红玲,等. 不同覆膜条件对设施葡萄温湿度及物候期的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2013,31(6):37-40.
- [3]战吉成,黄卫东,王利军. 植物弱光逆境生理研究综述[J]. 植物学通报,2003,20(1):43-50.
- [4]Pires M V, Alameida A A F, Figueiredo A L, et al. Photosynthetic characteristics of ornamental passion flowers grown under different light intensities[J]. Photosynthetica,2011,49(4):593-602.
- [5]胡启鹏,郭志华,李春燕,等. 不同光环境下亚热带常绿阔叶树种和落叶阔叶树种幼苗的叶形态和光合生理特征[J]. 生态学报,2008,28(7):3262-3270.
- [6]李丹丹,张丹,张有利,等. 弱光对黄瓜幼苗叶片光合产物积累的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2019,31(1):1-6.
- [7]单幼霞. 光胁迫对枇杷果实发育期间生理生化的影响[D]. 杭州:浙江农林大学,2018.
- [8]吕程瑜,刘艳红. 不同遮阴条件下梓叶槭幼苗生长与光合特征的种源差异[J]. 应用生态学报,2018,29(7):2307-2314.
- [9]郭祁,刘娜. 不同遮阴处理对四季草莓品种‘赛娃’光合生理特性的研究[J]. 山西果树,2018(2):7-9.
- [10]彭鑫,王喜乐,倪彬彬,等. 遮阴对草莓光合特性和果实品质的影响[J]. 果树学报,2018,35(9):1087-1097.
- [11]李瑛. 基于光合特性的设施栽培耐弱光葡萄品种筛选[D]. 上海:上海交通大学,2015.
- [12]谢计蒙,王海波,王孝娣,等. 设施葡萄品种连年丰产能力与光合生理特性关系研究[J]. 果树学报,2012,29(5):843-851.
- [13]项殿芳,吴学仁,赵德生. 葡萄叶面积测定方法的改进[J]. 河北职业技术师范学院学报,2002,16(4):1-5.
- [14]吕芳德,徐德聪,潘晓杰. 果树光合作用研究进展[J]. 湖南林业科技,2003,30(3):34-38.
- [15]何静雯,赵晟,岳庆春,等. 弱光胁迫下“鄞红”葡萄光合特性及相关基因的表达[J]. 西南农业学报,2018,31(12):2520-2526.
- [16]王家保,王令霞,陈业渊,等. 不同光照度对番荔枝幼苗叶片生长发育和光合性能的影响[J]. 热带作物学报,2003,24(1):50-51.
- [17]刘帅,袁登荣,王志润,等. 选择性光技术对“阳光玫瑰”葡萄光合特性和果实品质的影响[J]. 果树学报,2016,33(2):187-195.
- [18]张振文,张保玉,童海峰,等. 萄开花期光合作用光补偿点和光饱和点的研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(1):24-29.
- [19]许中旗,黄选瑞,徐成立,等. 光照条件对蒙古栎幼苗生长及形态特征的影响[J]. 生态学报,2009,29(3):1121-1122.
- [20]乔东亚,王鹏,王淑安,等. 紫薇金叶品种金幌叶色变化响应高光照的生理特性[J]. 江苏农业学报,2020,36(1):180-186.
- [21]姜俊,王勇,李艳,等. 弱光胁迫对七个辣椒组合的生长发育及产量的影响[J]. 北方园艺,2016(22):44-46.
- [22]李勃,李晨,李秀杰,等. 遮阴对“夏黑”葡萄叶幕微环境、叶片质量及果实品质的影响[J]. 中国果树,2017(5):45-48.
- [23]吴月燕,崔鹏,李波. 薄膜覆盖对葡萄生长和生理特性的影响[J]. 果树学报,2011,28(6):991-997.
- [24]周忆堂,马红群,梁丽娇,等. 不同光照条件下长春花的光合作用和叶绿素荧光动力学特征[J]. 中国农业科学,2008,41(11):3590-3591.
- [25]石凯,李泽,张伟建,等. 不同光照对油桐幼苗生长、光合日变化及叶绿素荧光参数的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2018,38(8):35-42.
- [26]许文天,白团辉,高玉尧,等. 避雨栽培对杧果果实品质和病害的影响[J]. 果树学报,2013,30(4):634-638.
- [27]赵密珍,钱亚明,苏家乐. 欧亚种葡萄避雨栽培主要生物学特性研究[J]. 湖北农学院学报,2004,24(2):98-101.
- [28]魏永赞,胡福初,郑雪文,等. 光照对荔枝果实着色和花色素苷生物合成影响的分子机制研究[J]. 园艺学报,2017,44(7):1363-1370.
- [29]邵婉璐,李月灵,高松,等. 光照强度对成熟红颜草莓果实着色和花青素生物合成的影响及可能的分子机制[J]. 植物研究,2018,38(5):661-668.